

Внутреннее трение может играть решающую роль в термочувствительности ионных каналов

Окенов Арстанбек Окенович

Япаров Богдан Ярославович

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Москвин Александр Сергеевич, д.ф.-м.н.

a.o.okenov@outlook.com

TRP каналы являются клеточными сенсорами для широкого спектра физических и химических стимулов. Среди них обнаружено 6 термочувствительных каналов, которые условно делят на две группы: “теплоактивируемые” (TRPV1-4) и “холодоактивируемые” (TRPA1, TRPM8). На активацию канала, наряду с температурой, могут влиять как лиганды, так и мембранный потенциал [1]. Несмотря на активные исследования данных структур, причина их высокой термочувствительности до сих пор не ясна [1-2].

Взяв за основу электронно-конформационную модель ионных каналов [3], мы предлагаем новый подход для описания механизма термоактивации TRP каналов. В основе модели лежит разделение динамики канала на быструю (электронную) и медленную (конформационную). Медленная конформационная динамика описывается уравнением Ланжевена с учетом как случайной силы (тепловой шум), так и «внутреннего трения». Понятие «внутреннее трение» интерпретируется как характеристика взаимодействия структурных элементов белка между собой, мембраной и окружающей цитоплазмой. Ключевым аспектом нашей модели является зависимость «внутреннего трения» от конформационной координаты [4]. Таким образом, учитывается изменение динамических свойств белка при конформационных изменениях его структуры [5], вызванных переходами из закрытого состояния канала в открытое и наоборот [2]. Для температурной зависимости «внутреннего трения» предполагается обычный “аррениусовский” закон [5].

В рамках простейшей модели с двумя (открытым и закрытым) состояниями, с соответствующими величинами коэффициента «внутреннего трения», мы смогли получить кривую активации как для “теплоактивируемого” TRPV1, так и для “холодоактивируемого” TRPM8 каналов. Кроме того, в рамках модели удается описать влияние мембранного потенциала на кривую термоактивации и объяснить изменение параметров активации канала, вызванное мутациями [2].

Активация термоактивируемых TRP различными лигандами непосредственно связана с электронной динамикой модели и представляет предмет дальнейших исследований.

Работа выполнена при поддержке Министерства Образования и Науки РФ, проект № 5719.

Список публикаций:

- [1] Dhaka A., Viswanath V., Patapoutian A. // *Annu Rev Neurosci* 29:135–161. 2006.
- [2] Yang, F., Y. Cui, J. Zheng // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 107:7083–7088. 2010.
- [3] Moskvin A.S., Philipiev M.P. at al. // *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 90: 88–103. 2006
- [4] Best R. B., Hummer G. // *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 107, 1088–1093. 2010
- [5] Rauscher A.A., Simon Z., Malnasi-Csizmadia A. // *The FASEB Journal* 25(8):2804-13. 2011.

Сравнительный анализ фоторецепторов зрительной системы человека

Радченко Михаил Михайлович

Кубанский государственный университет

Добро Людмила Фёдоровна, к.п.н.

just4fail@yandex.ru

Глаза человека – сложнейшая оптическая система, которая состоит из большого количества функциональных элементов. Человек воспринимает около 90% поступающей информации благодаря их работе. Основными составляющими элементами глаза являются зрачок, хрусталик, роговица, радужная оболочка, сетчатка, макула (жёлтое пятно), а также зрительный нерв. К задней стенке глазного яблока прикреплены мышцы, которые обеспечивают его движением, благодаря чему человек получает качественное изображение.

Вообще то, что мы называем «зрением», на самом деле является сложным процессом зрительной фототрансдукции, а именно преобразованием световых сигналов в электрические импульсы в фоторецепторных нейронах, лежащих в основе формирования зрительных образов [1]. Основные элементы человеческого глаза представлены на *рис. 1*.

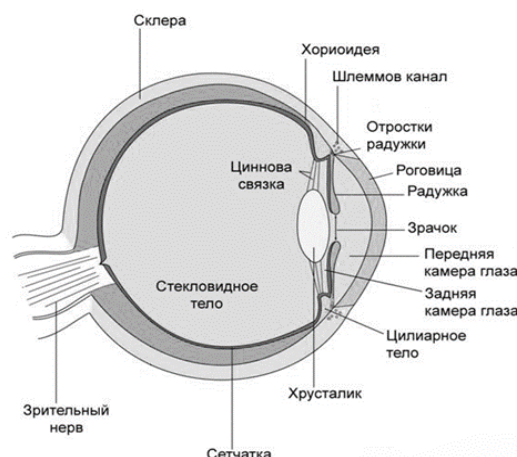


рис.1. Элементы человеческого глаза

Целью данной работы является сравнительный анализ фоторецепторных систем человека. Однако перед тем, как провести его, необходимо кратко описать функционирование такой сложной оптической системы, как человеческий глаз.

Устройство глаза можно сравнить с мощной линзой, которая собирает световые лучи. Эту функцию выполняет роговица - передняя прозрачная оболочка глаза. Пройдя сквозь нее, свет достигает радужной оболочки - светонепроницаемой диафрагмы глаза, в центре которой находится отверстие - зрачок. Благодаря его способности сужаться и расширяться наш глаз может быстро адаптироваться к свету разной интенсивности. Из зрачка лучи попадают на двояковыпуклую линзу - хрусталик. Его функция заключается в преломлении лучей и фокусировке изображения. Хрусталик играет важную роль в составе светопреломляющего аппарата, поскольку он способен настраиваться на видение объектов, расположенных на разном расстоянии от человека. Он фокусирует какой-либо зрительный объект в перевернутом виде четко на сетчатку, которая захватывает фотоны и проецирует лучи света, отраженные от предметов. Её можно представить как некое подобие экрана, на котором «передается» изображение окружающего мира. Далее, как показано в работе [2], начинают выполнять свою работу системы фоторецепторов: палочки и колбочки. Их функция состоит в том, чтобы обнаружить свет, который распространяется в сетчатке по-разному, и преобразовать его в электрические сигналы.

Строение палочек позволяет воспринимать очень маленькие световые раздражители, даже при низкой степени освещенности, но одновременно с этим не позволяет различать оттенки светового спектра. Строение колбочек, наоборот, дает зрительной системе возможность распознать и обработать всю цветовую палитру. Во время выполнения фоторецепторами своих функций также работает центральная ямка глаза. Она отвечает за углубленное восприятие цвета, так как колбочки содержат фоточувствительные пигменты, позволяющие человеку различать цвета. Однако отсутствие палочек в ямке делает ее невосприимчивой к плохо освещенным предметам, это показано в работе [3]. Чтобы увидеть изображение «как оно есть», к работе глаза подключается мозг. Информация, которая была собрана светочувствительными клетками сетчатки, направляется зрительному нерву и преобразуется в электрические импульсы, которые передаются по нервным тканям от глаза в мозг человека. Именно здесь и начинается аналитическая работа - мозг обрабатывает поступившую информацию, и человек воспринимает мир таким, какой он есть.

Опираясь на вышеперечисленные данные, была составлена таблица, в которой приведено подробное сравнение двух фоторецепторных систем глаза человека.

Параметры	Система палочек	Система колбочек
Синаптическая конвергенция (светочувствительность)	низкая, специально для ночного зрения	высокая, специально для дневного зрения
Количество фотопигментов (количество светочувствительных химических веществ, находящихся в рецепторных клетках сетчатки глаза)	большое	малое
Захват света (обработка падающего на зрачок света)	бóльший	меньший

Параметры	Система палочек	Система колбочек
Адаптация (<i>реагирование на разную степень освещенности</i>)	медленное	быстрое
Бинокулярное слитие (<i>объединение сигналов в единый нервный образ</i>)	медленное	быстрое
Восприимчивость (<i>способность к восприятию</i>)	к рассеянному свету	к прямым осевым лучам
Острота зрения (<i>способность различать границы между светлыми и темными участками</i>)	слабая	сильная
Тип бинокулярного зрения	черно-белое	цветное

Фоторецепторы человеческого глаза содержат около 140 миллионов палочек и свыше 6 миллионов колбочек и благодаря этому способны различать мельчайшие детали объекта или изображения. Лучше всего это проявляется при резком изменении яркости освещаемых деталей предмета. В источнике [4] описано, что при дневной освещенности глаз человека способен выделять мелкие детали с диапазоном контрастности порядка 800:1, а в условиях ночного или слабого освещения – до 1200:1. В настоящее время такой светочувствительностью и воспринимаемым диапазоном яркости не обладает ни один светочувствительный промышленный фотоматериал.

Список публикаций:

- [1] Derbenev A.V. // *Retinal Physiology*. 2015. Vol. 1. № 1. p. 13.
[2] Лунда Шапиро, Джордж Стокман, *Компьютерное зрение*, Бином. Лаборатория знаний, 2010 г. 752 стр
[3] Басинский С.Н, Егоров Е.А., *Клинические лекции по офтальмологии*, ГЭОТАР-Медиа, 2013 г. 320 стр.
[4] Демирчоглян Г.Г. // *Физиология сетчатки глаза: Первичные механизмы зрения*. 2007 г. 144 стр.

Сортировка биологических клеток электрическим полем: оценка точности управления траекторией и способы её улучшения

Спирёва Дарья Вадимовна

Новосибирский государственный университет

Москаленский Александр Ефимович, к.ф.-м.н.

gerd.raz@yandex.ru

Мир полон удивительных микроорганизмов: бактерий, вирусов, клеток, которые необходимо исследовать тщательно. Беря пробу можно столкнуться с проблемой: а как изучить именно данный вид клеток, без вмешательства остальных? Для этого необходимо отсортировать клетки в разные колбы. Эффективнее всего это можно сделать методом сортировки клеток электрическим полем. В данной работе рассматривается сортировка с помощью сортера BD FACSAria II (в ИЦиГ СО РАН). Цель данной работы заключается в том, чтобы оценить с какой точностью клетки попадают в одну и ту же точку при сортировке в электрическом поле и каким именно способом можно улучшить точность попадания и свести погрешность к минимуму.

Начальный этап исследования основан на методе проточной цитометрии, который основан на регистрации светорассеяния и флюоресценции от каждой отдельно взятой клетки в клеточной суспензии (пробе) [3]. После этого клетки проходят через вибрирующее сопло (иглолку) и разделяются на капли. Капли проходят электрическое кольцо, где им, в зависимости от результатов исследования и полученных характеристик, сообщается заряд, и попадают в поле электрических пластин, которое их сортирует [4].

Чтобы оценить точность управления траекторией, проведены измерения расстояния от центра основного потока до края одной из струй при подаче различных напряжений на пластины (рис. 1), а также с различными значениями заряда на капле.

По выведенной формуле

$$q = \frac{y^2 R m}{(U_2 - U_1) t^2} \quad (1)$$

сделана оценка заряда капель. Константу угла наклона пластин θ примем равную 1, радиус капли r равную радиусу иглолки, из которой она вытекает, - 50 мкм. Массу оценим как $m = V \rho$, где V – объем капли,